Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 103-115

Effect of Water Stress on some Morphological and Physiological Characteristics of *Citrus* Natural Genotypes Seedling

R. Fifaei[1]*, H. Taheri[2], Y. Tajvar[3], E. Gholamian[4]

Received: 17-03-2021 Revised: 24-04-2021 Accepted: 08-06-2021 Available Online: 20-06-2022	**How to cite this article:** Fifaei R., Taheri H.,Tajvar Y., and Gholamian E. 2022. Effect of Water Stress on some Morphological and Physiological Characteristics of Citrus Natural Genotypes Seedling. Journal of Horticultural Science 36(1): 103-115. (In Persian with English abstract). **DOI:** 10.22067/JHS.2021.69052.1027

Background and Objectives

Water is a main factor in agriculture activities and almost 70 percent of world water resources are consumed in agriculture. Drought consist the most important environmental restriction to plant growth and production. Drought stress is known to change a range of physiological processes such as photosynthesis, stomatal conductance and transpiration rate. *Citrus* are one of sub-tropical and tropical fruits and the most important horticultural products in the world that tolerate low temperature and weak drainage but as regards *Citrus* growing in sub-tropical and tropical regions that often expose drought. Drought is one the environment stress factors that is caused changes in plants morphological and physiological characteristics. Study of survival time in the three citrus rootstocks in sever stress circumstances showed that this time in rootstocks poncirus, cleopatra mandarine and former-alkaeid 5 were 11, 13 , 20 days, respectively while survival time in valencia on the rootstocks was 21, 26 and 29 days, respectively. This study was performed in order to study drought tolerant in natural genotypes with the poncirus and rough lemon. And so, morphological and physiological characteristics were investigated in this genotypes.

Materials and Methods

This research was performed in separately two tests in Citrus and subtropical fruits research center on 2016. In the first test, survival time and total transpiration and in the second test, organs fresh and dry weight, ion leackage and leaf relative water content were assessed in factorial experiment based on randomized completely design in nucellar seedlings of 8 *Citrus* natural genotypes (G10, G11, G12, G16, G18, G22, G23, G25) poncirus and rough lemon under glasshouse conditions (with temperature 26-28 degree centigrade in day and 20-22 degree centigrade in night and 80-85 percent relative humidity). Factors were 10 *Citrus* genotypes and two treatment of irrigation (optimum irrigation and withholding irrigation for six weeks) in the second test and 10 *Citrus* genotypes in the first test. In this study, medium weight moisture is calculated and due to the soil moisture characteristics curve was obtained medium matric potential. The matric potential rate was in control -0.03 megapascal and in sever stresss -1.5 megapascal. Organs fresh and dry weight were measured on digital balance with accuracy 0.01 gr. (model GM 6101, Germany). S amples were dried in oven (70 degree centigrade and for 48 hours). RWC is measured by using of fresh weight, dry weight and turgid weight in this formula: RWC= [(FW-DW) / (TW-DW)] × 100. Ion leackage was determined by use of 4 equal leaf segments and measuring of primary and secondary ion leackage in this fomula: EL (%) = (EL1/EL2) × 100. The first research was included of 10 treatment, six replication and one seedling in every plot and the second research was included of 20 treatment, three replication and two seedlings in every plot. SAS software (ver. 9.1) and Duncan test were used to variance analysis and mean comparison. Excel software was used to graphs drawing.

Results

1, 2, 3 and 4- Assistant Professors of Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezafifaei@yahoo.com)

The results showed that in first test, poncirus (with 125 days) and G11 (with 78 days) have longer survival time and are more tolerant and so rough lemon (with 38 days) and G12 (with 44 days) were more susceptible. Others were intermediate. Slowest of water consumption time in poncirus and the most quick in rough lemon, and so maximum of total transpiration in G25 and minimum in poncirus was observed. In second test, decrease maximum of leaf, shoot and total fresh weight in G22 (arranged by 0.37, 0.47 and 0.42) and decrease minimum in G11 (arranged by 0.48, 0.54 and 0.52), decrease maximum of root fresh weight in G22 (with 0.35 fold) and decrease minimum in G18 (with 0.52 fold), decrease maximum of root/shoot fresh weight in G18 (with 0.61 fold) and decrease minimum in G23 (with 0.65 fold) and increase maximum of root/shoot dry weight in G16 (with 1.56 fold) and increase minimum in poncirus (with 1.3 fold) was observed in compared with control. In stress, G18 (with 32.32 percent) and G12 (with 34.37 percent) had leaf relative water content minimum in compared with control. G12 (with 78.59 percent) and G18 (with 73.16 percent) had maximum and poncirus (with 31.85 percent) minimum ion leackage percent in compared with control. Therefore, rough lemon, G12 and G18 as susceptible and poncirus and G11 as tolerant to drought were introduced.

Discussion

In stress conditions, poncirus has longer survival time, slower water consumption time, minimum total transpiration and minimum ion leackage percent and is most tolerant. Rough lemon has shower survival time, more rapid water consumption time and is most susceptible. Other genotypes locate in after grades. Therefore poncirus and rough lemon can be used as rulers in tests of drought study.

Keywords: *Citrus* natural genotypes, Drought tolerant, Ion leackage, Water stress

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۱۵-۱۰۳

تاثیر تنش آبی بر برخی صفات مورفولوژی و فیزیولوژی دانهال ژنوتیپ‌های طبیعی مرکبات

رضا فیفائی[1]*- حسین طاهری[2]- یحیی تاجور[3]- اسماعیل غلامیان[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸

چکیده

مرکبات جزو میوه‌های نیمه‌گرمسیری و گرمسیری و از مهم‌ترین محصولات باغبانی هستند. خشکی از مهم‌ترین تنش‌های زیستی در مرکبات است. این پژوهش به منظور بررسی اثر خشکی بر دوره بقاء، تعرق کل و برخی صفات در دانهال‌های نوسلار ۱۰ ژنوتیپ طی دو آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. در آزمایش اول ۱۰ ژنوتیپ، تحت تنش شدید قرار گرفته تا دوره بقاء تعیین شود، سپس در آزمایش دوم این ۱۰ ژنوتیپ تحت تأثیر دو تیمار آبیاری (شاهد و قطع آبیاری) واقع شده و برخی صفات اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد در آزمایش اول پونسیروس و G11 دوره بقاء طولانی‌تری (۱۲۵ روز) داشته و متحمل‌تر و راف‌لمون (با ۳۸ روز) و G12 (با ۴۴ روز) نیز حساس‌تر بودند. کندترین زمان مصرف آب در پونسیروس و سریع‌ترین آن در راف‌لمون، همچنین بیش‌ترین میزان تعرق تجمعی در G25 و کم‌ترین آن در پونسیروس دیده شد. در آزمایش دوم بیش‌ترین کاهش وزن تر برگ (۰/۳۷ برابر)، شاخه (۰/۴۷ برابر) و کل (۰/۴۲ برابر) ناشی از خشکی در G22 و کم‌ترین کاهش در G11 بترتیب با ۰/۴۸، ۰/۵۴ و ۰/۵۲ برابر در مقایسه با شاهد، بیش‌ترین کاهش وزن تر ریشه ناشی از خشکی در G22 با ۰/۳۵ برابر و کم‌ترین کاهش در G18 با ۰/۵۲ برابر، بیش‌ترین کاهش وزن تر ریشه به شاخه ناشی از خشکی در G18 با ۰/۶۱ برابر و کم‌ترین کاهش در G23 با ۰/۶۵ برابر و بیش‌ترین افزایش وزن خشک ریشه به شاخه ناشی از خشکی در G16 با ۱/۵۶ برابر و کم‌ترین افزایش در پونسیروس با ۱/۳ برابر نسبت به شاهد دیده شد. در شرایط تنش G18 و G12 بترتیب با ۳۲/۳۲ و ۳۴/۳۷ درصد کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را داشتند. همچنین G23، G22، G25، G12 و G18 از بیش‌ترین و پونسیروس از کم‌ترین درصد نشت یونی (۳۱/۸۵ درصد) برخوردار بودند. بنابراین پس از بررسی شاخص‌های فوق‌الذکر، می‌توان راف‌لمون و G12 و G18 را بعنوان حساس در برابر خشکی و پونسیروس و G11 را نیز بعنوان متحمل به خشکی معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: تحمل به خشکی، تنش کم‌آبی، نشت یونی، نژادگان طبیعی مرکبات

مقدمه

مرکبات از خانواده روتاسه[5] و زیرخانواده اورانتیوئیده[6] بوده که شامل پرتقال، نارنگی، پوملو، بالنگ، گریپ‌فروت، لایم و لمون است. سازگاری آمیزشی بین جنس مرکبات و جنس‌های مرتبط با آن و همچنین سازگاری بین گونه‌ها، فراوانی جهش جوانه و بروز پدیده آپومیکسی در برخی گونه‌ها، دورگه‌های طبیعی و مصنوعی زیادی در این گیاه ایجاد نموده است. بررسی این دورگه‌ها در برابر تنشهای زنده و غیرزنده می‌تواند راهکار خوبی در دستیابی به منابع ژنتیکی متحمل باشد (Nicolosi, 2007). ژنوتیپ‌های طبیعی مرکبات، ژنوتیپ‌هایی هستند که در اثر گرده افشانی طبیعی بین ارقام و گونه‌های مختلف جنس سیتروس، پونسیروس و ... حاصل شده و والدین نامشخص دارند. این ژنوتیپ‌ها از باغات مناطق شمالی و جنوبی کشور جمع آوری، تکثیر و در کلکسیون منابع ژنتیکی ایستگاه کترا کشت شده و بمنظور اهداف مختلف در پروژه‌های تحقیقاتی استفاده می‌شوند. این‌ها حاصل تلاقی و یا دورگ‌گیری توسط انسان نیستند.

خشکی یکی از عوامل تنش‌زای محیطی است که باعث ایجاد تغییرات بسیاری در خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی گیاهان می‌شود (Fotouhi Ghazvini *et al.*, 2011). درختان مرکبات دماهای پایین و زهکشی ضعیف خاک را بخوبی تحمل نکرده و در

۱، ۲، ۳ و ۴ - استادیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: rezafifaei@yahoo.com
DOI: 10.22067/JHS.2021.69052.1027

5- Rutaceae
6- Aurantioideae

مناطق گرم با خاک‌های دارای ظرفیت نگهداری آب پایین پرورش داده می‌شوند و در نتیجه خشکی‌های دوره‌ای را تجربه می‌کنند (Fereres and Soriano, 2007).

بررسی دوره بقاء سه پایه مرکبات شامل پونسیروس، کلئوپاتراماندارین و فورنرآلکایید ۵[1] در شرایط تنش شدید خشکی (قطع آبیاری) نشان داد میانگین این زمان برای پایه‌های مزبور به ترتیب ۱۱، ۱۳ و ۲۰ روز است در حالی که در نهال‌های والنسیا پیوندی روی این پایه‌ها به ترتیب ۲۱، ۲۶ و ۲۹ روز می‌باشد (Rodríguez-Gamir *et al*., 2010).

بررسی دو پایه کاریزوسیترنج و کلئوپاتراماندارین تحت تنش خشکی (قطع آبیاری به مدت نه روز) نشان داد در تیمار شاهد میزان تعرق در برگ‌های کاریزوسیترنج بیش‌تر از کلئوپاتراماندارین بود و خشکی باعث کاهش تعرق در هر دو پایه بخصوص کلئوپاتراماندارین شد (Garcıa-Sancheza *et al*., 2007). همچنین زمانی که سه رقم پرتقال واشنگتن‌ناول، خونی و شاموتی روی پایه نارنج تحت تیمارهای مختلف آبیاری (۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد آب قابل دسترس) قرار گرفتند نتایج نشان داد تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان تعرق ارقام در پاسخ به خشکی پیش‌رونده با زمان وجود دارد و رقم پرتقال شاموتی در مقایسه با سایر ارقام، متحمل‌تر به خشکی است و کاهش کمتری در میزان تعرق در طول دوره نشان داد در حالی که واشنگتن‌ناول حساسیت بیشتری داشت (Al-Absi, 2009). بررسی اثر تنش آبی (شاهد با سه بار و تنش با یک بار آبیاری در هفته) روی دانهال‌های سوئینگل سیتروملو و کلئوپاتراماندارین در شرایط گلخانه‌ای مشخص کرد میزان تعرق در شرایط طبیعی در سیتروملو بیش‌تر از کلئوپاترا بود (Cimo *et al*., 2013). میزان تعرق در همه حالات در دوره تنش کاهش یافت. مطالعه یک سیکل خشکی (۲۱ روز قطع آبیاری و سپس دو روز آبیاری مجدد) در نهال‌های پرتقال نیوهال[2] و تانگور النديل[3] در شرایط گلخانه‌ای کنترل شده نیز نشان داد در تیمار شاهد میزان تعرق کوتیکولی[4] در پرتقال ۶۲ درصد بالاتر از تانگور بود ولی تحت شرایط خشکی این میزان در پرتقال ثابت و در تانگور کاهش داشت به طوری که در پایان آزمایش، کاهش ۴۵ درصدی در تعرق دیده شد (Alizadeh *et al*., 2011).

در بررسی تاثیر کم‌آبی و میکوریزا در دانهال‌های راف‌لمون گلدانی مشاهده شد در شرایط تنش، نسبت وزن خشک شاخه به ریشه کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت (Levyt and Syvertsen, 1983). تاثیر دو گونه قارچ میکوریزا بر برخی خصوصیات دانهال‌های گلدانی ولکامریانا تحت تیمارهای تنش خشکی نشان داد وزن خشک برگ، شاخه و ریشه در شرایط تنش، کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت (Haghighatnia *et al*., 2011). در بررسی دیگری وزن خشک شاخه و نسبت وزن خشک ریشه به شاخه در هلوی کاترینا روی چهار پایه با قطع آبیاری تا ۲۶ روز معنی‌دار نبود هرچند مقدار آن‌ها نسبت به شاهد کاهش داشت (Jimenez *et al*., 2013). در تحقیق دیگری کاهش وزن تر و خشک کل گیاه در رقم سیب ویستا بلا روی هر دو پایه مورد استفاده در اثر خشکی گزارش شد (Bolat *et al*., 2014). در ارقام انگور، زیتون و سیب کاهش وزن تر و خشک شاخه، برگ و ریشه در اثر خشکی گزارش شده است (Rabiei, 2004; Arji *et al*., 2003).

در بررسی تنش شدید خشکی روی پایه فورنر آلکائید ۵ در مقایسه با والدینش یعنی کلئوپاتراماندارین و پونسیروس تریفولیاتا مشاهده نمودند در هر سه پایه محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (Rodríguez-Gamir *et al*., 2010). مطالعه دو پایه کاریزوسیترنج و کلئوپاتراماندارین نشان داد محتوای نسبی آب برگ در دانهال‌های تحت خشکی پایین‌تر از شاهد بود و این کاهش در کاریزوسیترنج بیش‌تر از کلئوپاتراماندارین دیده شد (Fotouhi Ghazvini *et al*., 2011). بررسی دانهال‌های سه ماهه ۱۰ پایه مختلف مرکبات تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در گلخانه نشان داد با افزایش تنش خشکی کاهش معنی‌داری در محتوای نسبی آب برگ همه پایه‌ها مشاهده شد (Beniken *et al*., 2013). مطالعه یک سیکل خشکی در نهال‌های شش ماهه پرتقال نیوهال و تانگور النديل در شرایط گلخانه‌ای کنترل شده نشان داد در پایان دوره تنش، کاهش قابل ملاحظه‌ای در محتوای نسبی آب برگ در نهال‌های تانگور مشاهده شد (Save *et al*., 1995). اثر تنش خشکی بر نهال‌های گلدانی پرتقال والنسیا روی پایه‌های رانگ‌پورلایم دیپلوییدی و تتراپلوییدی در شرایط گلخانه‌ای نشان داد سطوح پلوییدی پایه‌ها، تاثیری بر محتوای نسبی آب برگ نداشت و تفاوتی بین والنسیا پیوندی روی رانگ‌پورلایم دیپلویید و تتراپلویید دیده نشد (Allario *et al*., 2012). بررسی تنش خشکی در شش رقم انجیر نشان داد خشکی سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ و نشت یونی شد که بیش‌ترین آن مربوط به رقم سیاه درشت بود (Sajedi *et al*., 2017). بررسی واکنش پنج رقم انگور در چهار سطح پتانسیل آب خاک نشان داد پایداری نسبی غشاء سلولی، با افزایش شدت تنش خشکی کاهش و در نتیجه نشت یونی افزایش یافت. درصد پایداری نسبی غشاء سلولی در ۱/۵- مگاپاسکال در ارقام خوشناو، ساهانی و بیدانه سفید نسبت به بقیه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Ghaderi *et al*., 2010). مطالعه تنش خشکی در ارقام سیب ویستا بلا و گلابی سانتاماریا نشان داد با افزایش سطوح تنش آبی، درصد نشت یونی در هر دو رقم روی پایه‌های مورد مطالعه افزایش داشت. میزان این افزایش در گلابی رقم سانتاماریا کم‌تر بود (Bolat

1- Forner- Alcaide no.5
2- Newhall orange *(Citrus sinensis* (L.) Osbeck)
3- Ellendale tangor (orange x mandarin hybrid) *(Citrus sinensis* (L) Osbeck *x Citrus reticuluta* Blanco)
4- Cuticular transpiration rate (TRc)

et al., 2014). مطالعه دیگری نشان داد شاخص پایداری غشاء سلولی در دو رقم توت فرنگی پاروس و کوئین الیزا در اثر تنش خشکی ۱،۲- مگاپاسکال کاهش یافت (Marivani *et al*., 2019).

هدف از انجام این پژوهش، بررسی برخی از ژنوتیپ‌های طبیعی از نظر تحمل به خشکی و مقایسه آن‌ها با رافلمون و پونسیروس از نظر برخی شاخص‌های مرفولوژی و فیزیولوژی است.

مواد و روش‌ها

بذور هشت ژنوتیپ طبیعی (که با کدهای عددی بصورت Gn نمایش داده شدند) و دو پایه متحمل پونسیروس[1] و حساس رافلمون[2] جمع‌آوری و پس از آماده‌سازی و ضدعفونی با قارچ کش کاپتان (به غلظت دو در هزار) در ترکیب استریل متشکل از پرلیت و ماسه اتوکلاو شده (به نسبت مساوی) در سال ۱۳۹۵ کشت شدند. بعد از سبز شدن بذور، دانهال‌های نوسلار تولیدی در مرحله دو تا سه برگی به گلدان‌های پلاستیکی دو و نیم لیتری محتوی ترکیب استریل کوکوپیت و ماسه به نسبت مساوی (اتوکلاو شده) منتقل و در گلخانه کنترل شده پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری در رامسر (با دمای ۲۶- ۲۸ درجه سانتی‌گراد در روز و ۲۰ -۲۲ درجه در شب با رطوبت نسبی ۸۰- ۸۵ درصد) قرار گرفتند. آبیاری در حد حفظ ظرفیت گلدانی و تغذیه با محلول هوگلند (هر هفت روز یکبار) انجام شد.

در آزمایش اول، دوره بقاء ژنوتیپ‌ها و تعرق کل تعیین شد. دانهال‌های یکساله یکنواخت که در شروع آزمایش انتخاب شدند تحت تنش شدید خشکی قرار گرفتند بدین ترتیب که آبیاری شش دانهال از هر ژنوتیپ قطع، تا دوره بقاء آن‌ها (یعنی مدت زمانی که طول می کشد تا کل برگ‌های ۵۰ درصد گیاهان تحت تنش بگونه‌ای پژمرده شوند که با آبیاری مجدد دیگر به حالت اولیه برنگردند) مشخص شود. گلدان‌ها حداقل دو بار در هفته در طول دوره تنش خشکی وزن شدند و در نهایت میزان تعرق کل محاسبه شد. در شروع آزمایش گلدان‌ها بطور کامل آبیاری شدند و بعد از زهکشی کامل و خروج آب اضافی با کیسه پلاستیکی سیاه پوشیده و قسمت پایین ساقه جهت ممانعت از تبخیر و از دستدهی آب، کاملاً بسته شد. در این تحقیق از طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار و یک دانهال در هر واحد آزمایشی استفاده شد (Rodríguez-Gamir *et al*., 2010).

در آزمایش دوم، چند روز قبل از زمان بقاء که در آزمایش اول تعیین شد، نمونه‌برداری از برگ‌های میانی شاخه دانهال‌های یکساله انجام و شاخص‌های مورد نظر اندازه‌گیری شد. در این آزمایش که به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو دانهال در هر واحد آزمایشی انجام شد فاکتورها شامل ژنوتیپ‌های مختلف (۱۰ ژنوتیپ شامل G10، G11، G12، G16، G18، G22، G23، G25، پونسیروس و رافلمون) و تیمارهای آبیاری (شاهد و قطع آبیاری) بودند. در این تحقیق، رطوبت وزنی بستر محاسبه و با توجه به منحنی خصوصیات رطوبتی خاک، پتانسیل ماتریک بستر کشت بدست آمد که در تیمار شاهد ۰/۰۳- مگاپاسکال و در تیمار تنش شدید ۱/۵- مگاپاسکال بود (شکل ۱).

در تیمار تنش، درشروع آزمایش همانند آزمایش اول گلدان‌ها بطور کامل آبیاری شدند و بعد از زهکشی کامل و خروج آب اضافی با کیسه پلاستیکی سیاه پوشیده و قسمت پایین ساقه جهت ممانعت از تبخیر و از دستدهی آب کاملا بسته شد. سپس قطع آبیاری انجام شد البته در تیمار شاهد آبیاری صورت گرفت. در انتهای آزمایش (یک هفته قبل از زمان بقاء) نیز، از هر تیمار در هر تکرار یک دانهال را انتخاب و از گلدان خارج کرده و پس از شستن ریشه‌ها با آب و سپس آب مقطر، اندام‌هوایی (شاخه و برگ)، از قسمت ریشه جدا و وزن هر قسمت بر حسب گرم با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل GM 6101 ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شد. سپس هر یک از قسمت‌ها به صورت جداگانه درون پاکت‌های کاغذی و درون آون قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از خشک‌شدن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت، از آون خارج شده و وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد (Rodríguez-Gamir *et al*., 2010).

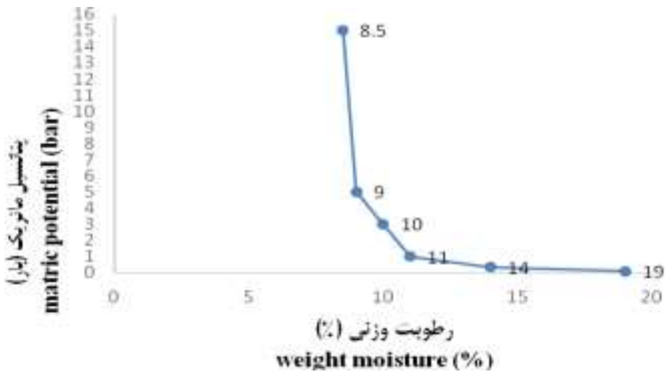
جهت تعیین محتوای نسبی آب برگ، چهار برگ بالغ کاملا توسعه یافته یکنواخت از قسمت وسط ساقه هر کدام از تیمارها در هر تکرار (دو برگ از هر دانهال) انتخاب و در پاکت پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم (مدل KERN ALS 120-4 ساخت کشور آلمان)، وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری شد. سپس درون یک بشر محتوی آب مقطر و در محیط تاریک به مدت یک شبانه‌روز قرارگرفته و وزن اشباع یا آماس آن‌ها اندازه‌گیری شد. پس از آن، ابتدا برگ‌ها با دستمال کاغذی خشک شده، سپس در پاکت کاغذی گذاشته و درون آون ۸۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و وزن خشک آن‌ها تعیین شد (Morgan, 1984). محتوای نسبی آب برگ به صورت زیر بیان می‌شود:

رابطه (۱) $RWC= [(FW-DW) / (TW-DW)] \times 100$

که در آن FW وزن تر (گرم)، DW وزن خشک (گرم) و TW وزن برگ در حالت اشباع است.

برای تعیین نشت یونی یا پایداری نسبی غشای سلولی، چهار برگ بالغ کاملا توسعه یافته یکنواخت از قسمت وسط ساقه هر کدام از تیمارها در هر تکرار (دو برگ از هر دانهال) انتخاب و در پاکت پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شد. سپس سه مرتبه با آب مقطر و هر بار به مدت ۱۰ دقیقه شستشو و در محیط آزمایشگاه خشک شد.

1- *Poncirus trifoliate* Raf.
2- *Citrus jambhiri* Lush.



شکل ۱- منحنی خصوصیات رطوبتی بستر کشت
Figure 1- Culture medium moisture characteristics curve

از هر برگ، چهار قطعه یکسان هر کدام به قطر تقریبی یک سانتی‌متر از دو طرف رگبرگ اصلی جدا نموده و در لوله آزمایش درپوش‌دار محتوی ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. نشت یونی اولیه پس از ۲۴ ساعت تکان تدریجی در دمای آزمایشگاه روی شیکر اندازه‌گیری و سپس نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آبی قرار داده شدند و نشت یونی ثانویه پس از خنک شدن و رسیدن به دمای آزمایشگاه تعیین شد (Whitlow *et al.*, 1992).

$$EL (\%) = (EL1/EL2) \times 100 \qquad \text{(۲) رابطه}$$

EL1 نشت یونی اولیه و EL2 نشت یونی نهایی است.

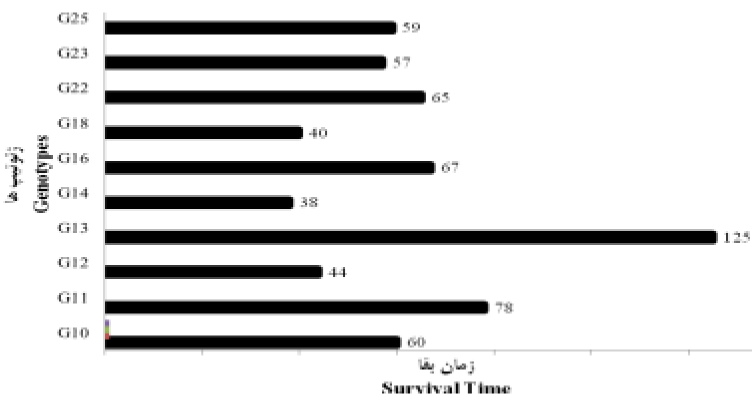
آزمایش اول با ۱۰ تیمار (ژنوتیپ‌های مختلف) ، شش تکرار و یک دانهال در هر واحد آزمایشی و آزمایش دوم با ۲۰ تیمار (دو فاکتور شامل ۱۰ ژنوتیپ مختلف و دو تیمار آبیاری)، سه تکرار و دو دانهال در هر واحد آزمایشی انجام شد. برای تجزیه آماری و تجزیه واریانس از نرم افزار SAS نسخه ۹/۱ و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول

دوره بقاء

بررسی طول دوره بقاء ژنوتیپ‌ها نشان داد پونسیروس (G13) بیش‌ترین دوره بقاء (۱۲۵ روز) را داشت. بعد از آن G11، G16 و G22 به ترتیب با دوره بقاء ۷۸، ۶۷ و ۶۵ روز قرار گرفتند. همچنین رافلمون (G14)، کم‌ترین دوره بقاء (۳۸ روز) را نشان داد که بعد از آن G18 و G12 به ترتیب با دوره بقاء ۴۰ و ۴۴ روز واقع شدند (شکل ۲).

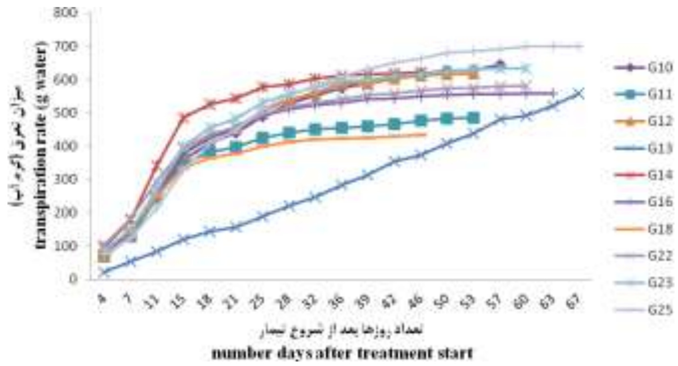


شکل ۲- زمان بقاء ژنوتیپ‌های مختلف مرکبات
Figure 2- Survival time of different Citrus genotypes

روند طول دوره بقاء ژنوتیپ‌ها طی دوره تنش شدید خشکی (قطع آبیاری) نشان داد پونسیروس (G13) و G11 متحمل‌تر و رافلمون

(G14)، G18 و G12 حساس‌تر از بقیه بودند. سایر ژنوتیپ‌ها نیز در حد متوسطی قرار داشتند (شکل ۲).

مقایسه روند مصرف آب در ژنوتیپ‌ها نشان داد پونسیروس کندترین مصرف آب و رافلمون سریع‌ترین مصرف آب را دارند (شکل ۳). مقدار مصرف آب در پونسیروس طی دوره بقاء طولانی آن، کم‌تر از رافلمون بوده است یعنی مقدار آب کم‌تری را در طول یک دوره طولانی و با روند کندتری مصرف کرده و رافلمون مقدار آب بیش‌تر را در طول یک دوره کوتاه و با روند سریع‌تر در مقایسه با پونسیروس مصرف نموده است.



شکل ۳- تفاوت مصرف آب در ژنوتیپ‌های مرکبات

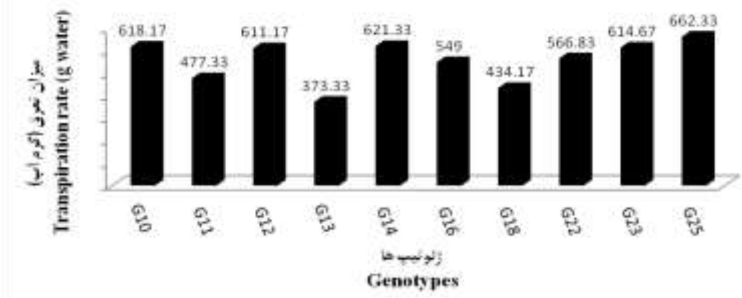
Figure 3- Water consumption variation in Citrus genotypes

همان‌طوری که در نتایج نیز مشهود است پونسیروس بیش‌ترین و رافلمون کم‌ترین دوره بقاء و تحمل را نسبت به شرایط خشکی شدید (قطع آبیاری) داشتند. کندترین زمان مصرف آب در پونسیروس و سریع‌ترین زمان مصرف آبی نیز در رافلمون مشاهده شد (شکل ۳). این نتایج با مطالعات رودریگز گیمیر و همکاران (Rodríguez-Gamir *et al*., 2010) در پونسیروس مطابقت داشت.

این موضوع با توجه به سطحی بودن ریشه‌ها در پونسیروس و همچنین برخورداری از برگ‌های کوچک و بالطبع مصرف کم‌تر و کندتر آب قابل توجیه است. لذا پونسیروس از دوره بقاء و تحمل بالاتری برخوردار است. در رافلمون نیز عمیق بودن ریشه‌ها و داشتن برگ‌های بزرگ می‌تواند دلیلی بر مصرف بیش‌تر و سریع‌تر آب و در نتیجه دوره بقاء و تحمل پایین‌تر باشد هر چند نقش سایر عوامل و شاخص‌های فیزیولوژی و بیوشیمیایی را نمی‌توان نادیده گرفت.

تعرق کل

بر اساس نتایج حاصله، میزان تعرق کل (تعرق تجمعی) در تمام ژنوتیپ‌ها طی دوره آزمایش افزایش یافت هر چند این میزان در ژنوتیپ‌های مختلف با یکدیگر اختلاف نشان داد. بیش‌ترین تعرق کل در G25 و کم‌ترین آن در پونسیروس مشاهده شد. همچنین در تمام ژنوتیپ‌ها با ادامه خشکی پیش‌رونده میزان تعرق کاهش یافت. البته این کاهش در رافلمون بیش‌تر و در پونسیروس کم‌تر از بقیه بود (شکل ۴).



شکل ۴- میزان تعرق در ژنوتیپ‌های مرکبات

Figure 4- The transpiration rate of the Citrus genotypes

گارسیا سانچزا و همکاران (Garcıa-Sancheza *et al.*, 2007) با قطع آبیاری به مدت نه روز مشاهده کردند میزان تعرق در برگ‌های هر دو ژنوتیپ مورد مطالعه کاهش یافت که این میزان در کلئوپاترااندارین کم‌تر از کاریزوسیترنج بود. تفاوت بین ژنوتیپ‌ها در پاسخ به خشکی پیش‌رونده در پژوهش الابسی (Al-Absi, 2009) نیز دیده شد که پرتقال واشنگتن‌ناول کاهش کمتری در میزان تعرق در طول دوره نشان داد و حساسیت بیشتری نسبت به خشکی داشت.

تاثیر خشکی بر کاهش تعرق و تفاوتی که بین ژنوتیپ‌های مختلف در این زمینه وجود دارد در پژوهش‌های سایر محققان نیز دیده شده است. سیمو و همکاران (Cimo *et al.*, 2013) کاهش بیش‌تری را در میزان تعرق سیتروملو نسبت به کلئوپاترامانداریَن مشاهده نمودند. در گزارشات سیو و همکاران (Save *et al.*, 1995) نیز به کاهش تعرق در تانگور در مقایسه با پرتقال اشاره شد. سایر مطالعات نیز حاکی از آن است که با افزایش تنش خشکی، تعرق نیز کاهش یافته تا گیاه بتواند با کم‌آبی مقابله کند هر چند که برخی ژنوتیپ‌ها با مقاومت در برابر کاهش تعرق بطرق مختلف، از توقف یا حتی کاهش رشد ممانعت می‌کنند.

آزمایش دوم

وزن تر و خشک اندام‌ها

وزن تر برگ

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر وزن تر برگ نشان داد ژنوتیپ‌های G11 و G22 در وضعیت بدون تنش (شاهد) به ترتیب با ۳۴/۶۷ و ۳۶/۰۲ گرم بیش‌ترین و پونسیروس در وضعیت تنش (قطع آبیاری) با ۲/۵۶ گرم کم‌ترین وزن تر برگ را داشتند. G18 شاهد بعد از G11 و G22 شاهد بیش‌ترین و پونسیروس شاهد کم‌ترین وزن تر برگ را بعد از پونسیروس تنش نشان دادند (جدول ۱).

خشکی در G11 و G22 باعث کاهش معنی‌دار وزن تر برگ در مقایسه با شاهد شد. در سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد. در واقع می‌توان گفت خشکی باعث شد تا وزن تر برگ در G22 و G11 کاهش یابد و در مقایسه با شاهد به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۴۸ برابر شود. بنابراین بیش‌ترین کاهش ناشی از خشکی در G22 و کم‌ترین کاهش در G11 دیده شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مطالعه وزن تر برگ در این تحقیق با مطالعه دانهال‌های ۱۰ پایه مختلف مرکبات (Beniken *et al.*, 2013) و بررسی دانهال‌های گلدانی ولکامریانا تحت تیمارهای تنش خشکی (Haghighatnia *et al.*, 2011) مطابقت داشت.

وزن تر ریشه

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر وزن تر ریشه نشان داد رافلمون شاهد با ۳۳/۳۷ گرم بیش‌ترین و پونسیروس تنش با ۷/۱۰ گرم کم‌ترین وزن تر ریشه را داشتند. G11، G18، G22 و G23 شاهد بعد از رافلمون شاهد بیش‌ترین و G22 تنش و G25 شاهد کم‌ترین وزن تر ریشه را بعد از پونسیروس تنش نشان دادند (جدول ۱).

خشکی در G11، G18، G22 و G23 باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه در مقایسه با شاهد شد. در سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد. در واقع خشکی باعث شد تا وزن تر ریشه در G22، G23، G11 و G18 کاهش یابد و در مقایسه با شاهد به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۴۶، ۰/۴۷ و ۰/۵۲ برابر شود. بنابراین بیش‌ترین کاهش ناشی از خشکی در G22 و کم‌ترین کاهش در G18 دیده شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مطالعه وزن تر ریشه در این تحقیق با بررسی تاثیر کم‌آبی و میکوریزا در دانهال‌های رافلمون گلدانی (Levyt and Syvertsen, 1983) مطابقت داشت.

وزن تر شاخه

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر وزن تر شاخه نشان داد G11 شاهد با ۶۰/۹۵ گرم بیش‌ترین و پونسیروس تنش با ۷/۰۴ گرم کم‌ترین وزن تر شاخه را داشتند. G22 و رافلمون شاهد بعد از G11 شاهد بیش‌ترین و پونسیروس شاهد و G16 شاهد کم‌ترین وزن تر شاخه را بعد از پونسیروس تنش نشان دادند (جدول ۱).

خشکی در G11 و G22 باعث کاهش معنی‌دار وزن تر شاخه در مقایسه با شاهد شد. در سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد. در واقع می‌توان گفت خشکی باعث شد تا وزن تر شاخه در G22 و G11 کاهش یابد و در مقایسه با شاهد به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۵۴ برابر شود. بنابراین بیش‌ترین کاهش ناشی از خشکی در G22 و کم‌ترین کاهش در G11 دیده شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مطالعه وزن تر شاخه در این تحقیق با مطالعه دانهال‌های ۱۰ پایه مختلف مرکبات (Beniken *et al.*, 2013) و مطالعه دانهال‌های نارنگی (Wu *et al.*, 2007) مطابقت داشت.

وزن تر کل

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر وزن تر کل گیاه نشان داد G11 شاهد با ۹۱/۴۳ گرم بیش‌ترین و پونسیروس تنش با ۱۴/۱۴ گرم کم‌ترین وزن تر کل گیاه را داشتند. G22، رافلمون، G18 و G23 شاهد بعد از G11 شاهد بیش‌ترین و

پونسیروس و G16 شـاهد، G25 تـنش، G25 شـاهد، G16 و G22 تنش کم‌ترین وزن تر کل گیاه بعد از پونسیروس تنش را نشان دادنـد (جدول ۱).

خشکی در G11 و G22 باعث کاهش معنی‌دار وزن تر کل گیـاه در مقایسه با شاهد شد. در سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنـی‌داری ایجـاد نشد. در واقع می‌توان گفت خشکی باعث شد تا وزن تر کـل گیـاه در G22 و G11 کاهش یابد و در مقایسه بـا شـاهد بـه ترتیـب ۰/۴۲ و ۰/۵۲ برابر شود. بنابراین بیش‌ترین کاهش ناشی از خشکی در G22 و کم‌ترین کاهش در G11 دیده شد (جدول ۱). نتایج حاصل از مطالعـه وزن تر برگ در این تحقیق با مطالعه دانهـال‌هـای ۱۰ پایـه مختلـف مرکبـات (Beniken *et al*., 2013) و بررسـی دانهـال‌هـای گـلدانی ولکامریانا تحت تیمارهـای تـنش خشـکی (Haghighatnia *et al*., 2011) مطابقت داشت.

نسبت وزن تر ریشه به شاخه

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر نسبت وزن تر ریشه به شاخه نشان داد پونسیروس تـنش بـا ۱/۰۰ بـیش‌تـرین و G10 شاهد با ۰/۳۲ کم‌ترین نسبت وزن تر ریشه به شاخه را داشـتند. پونسیروس شاهد بعد از پونسیروس تنش بـیش‌تـرین و G18، G12، G10 و G23 تنش کم‌ترین نسبت وزن تر ریشه بـه شـاخه را بعـد از ژنوتیپ G10 شاهد نشان دادند (جدول ۲).

خشکی در G18 و G23 باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه بـه شاخه در مقایسه با شاهد شد. در سایر ژنوتیپ‌ها اخـتلاف معنـی‌داری ایجاد نشد. در واقع می‌توان گفت خشکی باعث کاهش وزن تر ریشـه به شاخه در G18 و G23 به ترتیب به میزان ۰/۶۱ و ۰/۶۵ برابر شد. بنابراین بیش‌ترین کاهش ناشی از خشکی در G18 و کم‌ترین کاهش در G23 دیده شد (جدول ۲).

جدول ۱- اثرات متقابل ژنوتیپ × سطح آبیاری بر وزن تر برگ، ریشه، شاخه و کل

Table 1- The interaction effect of genotype ×irrigation level on some Citrus characteristics

ژنوتیپ Genotype	آبیاری Irrigation	وزن تر برگ Leaf fresh weight	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن تر شاخه Shoot fresh Weight	وزن تر کل Total fresh Weight
10	+	23.1 b-f	14.73 f-k	45.53 a-i	60.26 b-i
10	−	13.3 f-m	13.46 f-k	32.3 e-l	45.76 e-k
11	+	34.67 a	30.49 a-d	60.95 a	91.43 ab
11	−	16.48 e-k	14.46 f-k	32.74 e-l	47.2 d-j
12	+	22.27 b-h	24.34 b-f	47.51 a-g	71.85 a-f
12	−	14.42 f-l	14.03 f-k	34.76 d-l	48.79 d-j
13	+	3.57 mn	15.43 e-k	15.97 lmn	31.4 ijk
13	−	2.56 n	7.10 jk	7.04 n	14.14 k
14	+	23.18 b-f	33.37 ab	52.75 a-e	86.12 abc
14	−	12.95 f-m	22.65 b-g	36.51 c-l	59.16 c-i
16	+	8.56 j-n	9.18 h-k	19.17 k-n	28.35 ijk
16	−	9.96 i-n	13.77 f-k	11.76 mn	23.63 jk
18	+	25.05 b-e	29.33 a-d	45.89 a-h	75.12 a-e
18	−	17.46 d-k	15.2 e-k	39.89 b-k	55.09 c-j
22	+	36.02 a	33.13 ab	58.14 ab	91.27 ab
22	−	13.33 f-m	11.67 g-k	27.04 g-n	38.71 g-k
23	+	23.12 b-f	31.03 abc	47.17 a-g	78.2 a-d
23	−	14.25 f-l	14.15 f-k	32.82 e-l	46.97 d-j
25	+	14.79 f-l	11.23 g-k	23.24 j-n	34.47 h-k
25	−	11.24 i-n	12.24 f-k	15.26 lmn	22.79 jk

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال ۱ درصد با استفادهاز آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% of probability level based on DMRT.

جدول ۲- اثرات متقابل ژنوتیپ × سطح آبیاری بر وزن تر و خشک ریشه به شاخه، نسبی آب برگ و نشت یونی

Table 2- The interaction effect of genotype ×irrigation level on some Citrus characteristics

ژنوتیپ Genotype	آبیاری Irrigation	وزن تر ریشه/شاخه Root/Shoot fresh weight	وزن خشک ریشه/شاخه Root/shoot dry weight	محتوی نسبی آب برگ Leaf water relative content	نشت یونی Ion leakage
10	+	0.32^{s}	0.37^{s}	83.75^{abc}	18.35^{nop}
10	−	0.41^{p-s}	0.47^{m-s}	39.47^{j-m}	67.14^{hi}
11	+	0.51^{h-r}	0.47^{m-s}	91.49^{ab}	11.93^{op}
11	−	0.43^{n-s}	0.47^{m-s}	42.36^{i-m}	69.83^{ghi}
12	+	0.51^{h-r}	0.5^{j-s}	82.02^{bc}	14.4^{nop}
12	−	0.40^{qrs}	0.46^{m-s}	34.37^{lmn}	78.59^{d-g}
13	+	0.98^{ab}	0.62^{e-k}	81.07^{bc}	9.77^{p}
13	−	1.00^{a}	0.81^{abc}	42.17^{i-m}	31.85^{lm}
14	+	0.63^{c-h}	0.84^{a}	85.13^{abc}	14.7^{nop}
14	−	0.63^{c-i}	0.81^{abc}	49.42^{g-j}	69.43^{ghi}
16	+	0.48^{j-r}	0.45^{n-s}	82.88^{bc}	20.97^{nop}
16	−	0.5^{h-r}	0.69^{cde}	42.28^{i-m}	68.83^{ghi}
18	+	0.63^{c-h}	0.59^{e-n}	82.22^{bc}	12.19^{op}
18	−	0.38^{rs}	0.62^{e-k}	32.32^{mn}	73.16^{f-i}
22	+	0.58^{d-m}	0.52^{h-q}	91.45^{ab}	12.88^{nop}
22	−	0.44^{m-s}	0.5^{j-s}	37.59^{klm}	84.69^{b-e}
23	+	0.65^{c-g}	0.5^{i-s}	90.05^{ab}	12.48^{op}
23	−	0.42^{o-s}	0.52^{g-q}	34.39^{lmn}	93.4^{abc}
25	+	0.49^{i-r}	0.57^{e-o}	83.32^{bc}	18.82^{nop}
25	−	0.53^{g-q}	0.62^{e-k}	45.13^{h-l}	81.09^{def}

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون در سطح احتمال ۱ درصد با استفادهاز آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 1% of probability level based on DMRT.

نسبت وزن خشک ریشه به شاخه

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر نسبت وزن خشک ریشه بـه انـدام هـوایی نشـان داد راف‌لمـون شـاهد بـا ۰/۸۴ بیش‌ترین و G10 شاهد با ۰/۳۷ کم‌ترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را داشتند. پونسیروس و راف‌لمون تنش بعـد از راف‌لمـون شاهد بیش‌ترین نسبت را نشان دادند (جدول ۲).

خشکی در پونسیروس و G16 باعث افزایش معنی‌دار نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در مقایسه با شاهد شد. در سایر ژنوتیپ‌ها اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد. در واقع می‌توان گفـت خشـکی باعـث شد تا نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در پونسـیروس و G16 افزایش یابد و در مقایسه با شاهد به ترتیـب ۱/۳ و ۱/۵۶ برابـر شـود. بنابراین بـیش‌تـرین افـزایش ناشـی از خشـکی در G16 و کـم‌تـرین افزایش در پونسیروس دیده شد (جدول ۲).

نتایج حاصل از مطالعه وزن تر و خشک اندام‌ها در این تحقیق بـا بررسی تاثیر کم‌آبـی و میکـوریزا در دانهـال‌هـای راف‌لمـون گلـدانی (Levyt and Syvertsen, 1983)، مطالعـه دانهـال‌هـای ۱۰ پایـه مختلـف مرکبـات (Beniken *et al.*, 2013)، مطالعـه دانهـال‌هـای نارنگی (Wu *et al.*, 2007)، بررسی دانهال‌هـای گلـدانی ولکامریانـا تحـت تیمارهـای تـنش خشـکی (Haghighatnia *et al.*, 2011) و غیره مطابقت داشت. کـاهش وزن تـر ریشـه و انـدام‌هـای هـوایی و افزایش وزن خشک ریشه و ریشه بـه شـاخه در ژنوتیـپ‌هـای مـورد مطالعه، موضوعی است که محققان فوق نیز در نتایج بررسی‌های خود بدان اشاره نموده‌اند و این بخاطر از دست‌دهی آب از سطح دانهال‌ها و کاهش محتوای آب درونی گیاه است ضمن آنکـه جابجـایی و انتقـال کربوهیدرات‌ها و سایر مواد به انـدام زیرزمینـی دانهـال‌هـا منجـر بـه افزایش وزن خشک آن‌ها گردید.

محتوی نسبی آب برگ

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیـاری بـر محتـوی نسبی آب برگ نشان داد G11 شاهد با ۹۱/۴۹ درصـد بـیش‌تـرین و G18 تنش با ۳۲/۳۲ درصـد کـم‌تـرین محتـوی نسـبی آب بـرگ را داشـتند. G22، G23، G10، راف‌لمـون، G12، پونسـیروس، G16 و G18 شاهد بعد از G11 شاهد بیش‌ترین و G18، G12، G23، G22 و G10 تنش کم‌ترین محتوی نسبی آب بـرگ را بعـد از G18 تـنش

نشان دادند (جدول ۲).

تنش خشکی در تمامی ژنوتیپ‌ها باعث کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ در مقایسه با شاهد شد. خشکی باعث شد تا محتوی نسبی آب برگ به ترتیب در G23، G18، G22، G12، G11، G10، G16، پونسیروس، G25 و راف‌لمون کاهش یابد و در مقایسه با شاهد به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۳۹، ۰/۴۱، ۰/۴۲، ۰/۴۶۳، ۰/۴۷۱، ۰/۵۱، ۰/۵۲، ۰/۵۴۲ و ۰/۵۸ برابر شود. بنابراین بیش‌ترین کاهش ناشی از خشکی در G23 و کم‌ترین کاهش در راف‌لمون دیده شد (جدول ۲).

در این پژوهش، در تمامی ژنوتیپ‌ها کاهش معنی‌دار محتوی نسبی آب برگ در مقایسه با شاهد در اثر خشکی دیده شد. در شرایط تنش، G18، G12 و G23 کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را داشتند. بنابراین G18 و G12 بترتیب با ۳۲/۳۲ و ۳۴/۳۷ درصد به دلیل حفظ کم‌تر آب، حساس به خشکی هستند (جدول ۲).

درصد نشت یونی

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ و سطوح آبیاری بر درصد نشت یونی نشان داد G23 تنش با ۹۶/۶۳ درصد بیش‌ترین و پونسیروس شاهد با ۹/۷۷۳ درصد کم‌ترین درصد نشت یونی را داشتند. تنش خشکی در تمامی ژنوتیپ‌ها باعث افزایش معنی‌دار درصد نشت یونی در مقایسه با شاهد شد. خشکی باعث شد تا درصد نشت یونی در پونسیروس، G16، G10، G25، راف‌لمون، G12، G11، G18، G22 و G23 افزایش یابد و در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳/۲۶، ۳/۲۸، ۴/۳،۳۱/۶۶، ۴/۷۲، ۵/۴۶، ۵/۸۵، ۶، ۶/۵۸ و ۷/۴۸ برابر شود. بیش‌ترین افزایش ناشی از خشکی در G23 و کم‌ترین افزایش در پونسیروس دیده شد (جدول ۲).

در این تحقیق، در تمامی ژنوتیپ‌ها افزایش معنی‌دار درصد نشت یونی در مقایسه با شاهد در اثر خشکی دیده شد. در شرایط تنش G23، G22، G25، G12 و G18 بیش‌ترین و پونسیروس کم‌ترین درصد نشت یونی را داشتند. بنابراین G12 و G18 بترتیب با ۷۸/۵۹ و ۷۳/۱۶ درصد نشت یونی به دلیل تخریب بیش‌تر در شرایط تنش، حساس در برابر خشکی و پونسیروس نیز با ۳۱/۸۵ درصد به دلیل تخریب کم‌تر، متحمل به خشکی هستند (جدول ۲).

این نتایج در تحقیق انجام شده در پایه فورنر آلکائید ۵ (Rodríguez-Gamir *et al.*, 2010)، مطالعه دو پایه کاریزوسیترنج و کلئوپاترامانداریِن (Garcıa-Sancheza *et al.*, 2007)، بررسی دانهال‌های سه ماهه ۱۰ پایه مختلف مرکبات (Beniken *et al.*, 2013)، مطالعه یک سیکل خشکی در نهال‌های شش ماهه پرتقال نیوهال و تانگور الندیل (Save *et al.*, 1995) و مطالعه پرتقال والنسیا روی پایه‌های رانگ‌پورلایم دیپلوییدی و تتراپلوییدی (Allario *et al.*, 2012) نیز مشاهده شد. کمبود آب در خاک منجر به کاهش آب درون گیاه می‌شود. برخی گیاهان با داشتن مکانیسم‌های تحمل می‌توانند محتوای نسبی آب درون خود را حفظ کرده و یا از کاهش زیاد آن خودداری کنند بدین ترتیب نسبت به خشکی مقاومت بیش‌تری از خود نشان می‌دهند. در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در این پژوهش، همگی با کاهش محتوای نسبی آب برگ مواجه شدند ولی برخی از آن‌ها توانستند آب بیش‌تری را در مقایسه با شاهد در خود نگهدارند که با نتایج تحقیقات مورد اشاره مطابقت داشت.

همچنین بررسی واکنش پنج رقم انگور (Ghaderi *et al.*, 2010) و مطالعه تنش خشکی در ارقام سیب ویستا بلا و گلابی سانتا ماریا (Bolat *et al.*, 2014) نیز نشان داد با افزایش سطوح تنش آبی، درصد نشت یونی افزایش داشت. ممانعت از نشت یونی و تخریب سلولی یکی دیگر از راهکارهای مقابله با خشکی در گیاهان است در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه فقط در پونسیروس علیرغم اینکه نشت یونی داشتیم ولی در مقایسه با شاهد و سایر ژنوتیپ‌ها میزان تخریب کم‌تری اتفاق افتاد و نشت یونی کم‌تری دیده شد. همین موضوع مبین تحمل آن نسبت به تنش خشکی است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد در آزمایش اول دانهال‌های پونسیروس و G11 از دوره بقاء طولانی‌تری برخوردار بوده و متحمل‌تر هستند و راف‌لمون و G12 نیز حساس‌تر از بقیه بودند. سایر ژنوتیپ‌ها نیز در حد متوسطی قرار داشتند. کندترین زمان مصرف آب در پونسیروس، سریع‌ترین زمان مصرف آب در راف‌لمون، همچنین بیش‌ترین میزان تعرق تجمعی در G25 و کم‌ترین آن در پونسیروس دیده شد. در آزمایش دوم نیز بیش‌ترین کاهش وزن تر برگ، شاخه و کل ناشی از خشکی در G22 و کم‌ترین کاهش در G11 مشاهده شد. بیش‌ترین کاهش وزن تر ریشه ناشی از خشکی در مقایسه با شاهد در G22 با ۰/۳۵ برابر و کم‌ترین کاهش در G18 با ۰/۵۲ برابر و همچنین بیش‌ترین کاهش وزن تر ریشه به شاخه ناشی از خشکی در مقایسه با شاهد در G18 با ۰/۶۱ برابر دیده شد. بیش‌ترین افزایش وزن خشک ریشه به شاخه ناشی از خشکی در مقایسه با شاهد در G16 (۱/۵۶ برابر) و کم‌ترین افزایش در پونسیروس (۱/۳ برابر) مشاهده شد. در شرایط تنش، G18 و G12 نیز بترتیب با ۳۲/۳۲ و ۳۴/۳۷ درصد کم‌ترین محتوای نسبی آب برگ را در مقایسه با شاهد داشتند. در شرایط تنش G12 و G18 بترتیب با ۷۸/۵۹ و ۷۳/۱۶ درصد بیش‌ترین و پونسیروس با ۳۱/۸۵ درصد کم‌ترین نشت یونی را داشتند. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان راف‌لمون و G12 و G18 را بعنوان حساس در برابر خشکی و پونسیروس و G11 را نیز بعنوان متحمل به خشکی معرفی نمود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از گزارش نهایی پـروژه تحقیقـاتی پایـان‌یافتـه پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمـه‌گرمسـیری وابسـته بـه سـازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی با شماره فروست ۵۱۳۲۷ مـورخ ۹۶/۰۲/۱۶ است که از حمایت مالی آن مجموعه قدردانی می‌شود.

منابع

1. Al-Absi Kh.M. 2009. Gas exchange, chlorophyll and growth response of three orange genotypes (*citrus sinensis* [L.] Osbeck) to abscisic acid under progressive water deficit, Jordan Journal of Agricultural Sciences 5(4): 421-433.
2. Alizadeh A., Alizadeh V., Nassery L., and Eivazi A. 2011. Effect of drought stress on apple dwarf rootstocks, Technical Journal of Engineering and Applied Science 3: 86-94.
3. Allario Th., Brumos J., Colmenero-Flores J.M., Pina J.A., Navarro L., Talon M., Ollitrault P., and Morillon R. 2012. Tetraploid rangpur lime rootstock increases drought tolerance via enhanced constitutive root abscisic acid productionpce, Plant, Cell and Environmet, Pce-12021, 13 Pages.
4. Arji E., Arzani K., and Ebrahimzadeh H. 2003. Accumulation of proline and total soluble sugars in five cultivars *olea europaea* L. exposed to drought stress, Iran Biology Journal 16(4). (In Persian with Engligh abstract)
5. Beniken L., Omari F.E., Dahan R., Van Damme P., Benkirane R., and Benyahia H. 2013. Screening of ten citrus rootstocks to drought stress, In 1st International Plant Breeding congress,10-14 November 2013, Antalya, Turkey.
6. Bolat I., Dikilitas M., Ercisli S., Ikinci A., and Tonkaz T. 2014, The effect of water stress on some morphological, physiological and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks, Scientific World Journal, Article ID 769732: 1-8.
7. Cimo G., Lo Bianco R., Gonzalez P., Bandaranayake W., Etxeberria E., and Syvertsen J.P. 2013. “Carbohydrate and Nutritional Responses to Stem Girdling and Drought Stress with Respect to Understanding Symptoms of huanglongbing in Citrus”, Hortscience 48(7): 920–928.
8. Fereres E., and Soriano M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use, Journal of Experimental Botany 58: 147–159.
9. Fotouhi Ghazvini R., Heidari M., and Hashempour A. 2011. Physiology and molecular biology of stress tolerant in plants, Mashhad University Press. (In Persian)
10. Garcıa-Sancheza F., Syvertsena J.P., Gimenoc V., Botlab P., and Perez-Perezb J.G. 2007. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency, Physiologia Plantarum 130: 532–542.
11. Ghaderi N., Talaei E., Ebadi E., and Lesani H. 2010. Effect of drought stress and renewable irrigation on some of the physiological charachteristics in three Vitis cultivar included sahani, frrokhi and white seedless, Iran Horticultural Science Journal 41(2). (In Persian with Engligh abstract)
12. Haghighatnia H., Nadian H.A., and Rejali F. 2011. Effects of mycorrhizal colonization of growth, nutrients uptake and some other characteristics of *Citrus Volkameriana* rootstock under drought stress, World Applied Science Journal 13(5): 1077-1084.
13. Jimenez S., Dridi J., Gutierrez D., Moret D., Jrigoyen J.J., Moreno M.A., and Gogorcena Y. 2013. Physiological, biochemical and molecular responses in four prunus rootstocks submitted to drought stress, Tree Physiology 33(10): 1061-75.
14. Levyt Y., and Syvertsen J.P. 1983. Effect of drought stress and vesicular-arbuscular mycorrhiza on citrus transpiration and hydrolicconductivity of roots, New Physiology 93: 61-66.
15. Marivani F., Ghaderi N., and Javadi T. 2019. Evaluation of Lipid Peroxidation and Antioxidant Reaction of Strawberry to Drought Stress and Dust, Plant Productions 42(4): 536-550.
16. Morgan J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants, Annual Review Plant Physiology 35: 299-319.
17. Nicolosi E. 2007. Origin and Taxonomy, In Khan, I. A. (ed.) Citrus Genetics, Breeding and Biotechnology. CABI, 370.
18. Rabiei V. 2004. Investigation of physiological and morphological responses some of vitis cultivars to drought stress, University of Tehran, PhD thesis. (In Persian with Engligh abstract)
19. Rodríguez-Gamir J., Primo-Millo E., Forner J.B., and Forner-Giner M.A. 2010. Citrus rootstock responses to water stress, Scientia Horticulturae 126: 95-102.
20. Sajedi M., Esna-Ashari M., Jafari M., and AslMoshtaghi E. 2017. Physiological, Morphological and Biochemical Characteristics of Four Edible Fig and two Capri Fig Cultivars in Response to Drought Stress, Plant Production (Scientific Journal of Agriculture) 40(3): 101-112.
21. Save R., Biel C., Domingo R., Ruiz-Sanchez M.C., and Torrecillas A. 1995. Some physiological and morphological characteristics of citrus plants for drought resistance. Plant Science 110: 167-172.

22. Whitlow T.H., Bassuk N.L., Ranney T.G., and Reichert L.D. 1992. An improved method for using electrolyte leakage to assess membrane competence in plant tissues, Plant Physiology 98: 198-205.
23. Wu Q.Sh., Zou Y.N., Xia R.X., and Wang M.Y. 2007. Five *Glomus* species affect water relations of *Citrus tangerine* during drought stress, Botanical Studies 48: 147-154.